

纤维包自动除带及拆袋机割袋过程的有限元仿真研究

刘 琰 谭嗣宇 裴泽光

东华大学 机械工程学院(中国)

摘要: 针对目前直行往复式自动抓棉机纤维包人工排放过程自动化程度较低、用时长、劳动强度大的问题,在所设计的一种纤维包自动除带及拆袋机的基础上,利用 LS-DYNA 有限元分析软件,对该机的底面割袋装置和侧面割袋装置中刀具割开纤维包外部包装袋的过程进行显式动力学仿真研究,模拟了割袋过程中包装袋的破坏过程,获得割袋过程中包装袋上的应力分布规律,通过分析割袋过程中切割力随时间的变化特征,得到切割力的最大值。仿真结果可为割袋装置主要零部件的设计提供理论参考。

关键词: 抓棉机; 包装袋; 割袋; 仿真; 自动化

Finite element simulation study on the bag cutting process of automatic belt removal and unpacking machine for fiber bales

Liu Yan, Tan Siyu, Pei Zeguang

College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai/China

Abstract: For the current problems of insufficient automation, long duration and high labor intensity of the manual placement process of fiber bales for the reciprocating automatic bale opener, based on the design of the automatic belt removal and unpacking machine, explicit dynamic simulation of the cutting process of the packaging bag by cutters of the bottom and lateral bag cutting devices was conducted using the LS-DYNA finite element analysis software. The destruction process of the packaging bag during the bag-cutting process was simulated and the stress distribution rules on the packaging bag were obtained. By analyzing the changing characteristics of the cutting force with time during the bag cutting process, its maximum value was obtained. The simulation results can provide the theoretical reference for the design of the main parts of the devices.

Keywords: bale opener; packaging bag; bag cutting; simulation; automation

棉纺织业作为中国传统行业,近年来随着中国劳动力人口结构变化与成本的上升,逐步在寻求从传统制造到智能制造的转变^[1-3]。纺纱流程的第一步是由自动抓棉机从排列好的纤维包中抓取纤维,再将其送往后续机台进行加工。纤维包由包装袋包裹,因此需先将包装袋去除后才能开始抓棉,目前该工序主要由人工完成。在前期的研究中,设计了一种面向直行往复式自动抓棉机的纤维包自动除带及拆袋机,其在将

纤维包外部的捆扎带去除后^[4],利用底面割袋装置、侧面割袋装置、除袋装置、废袋传送带和废袋收集箱配合完成包装袋的切割、去除和收集(图 1)。其中:底面割袋装置位于纤维包正下方,利用回转的锯齿刀具将包装袋沿底面对角线割开,图 2 为底部锯齿刀具装置的结构示意图;侧面割袋装置位于纤维包侧方,利用刀具将包装袋高度方向的两条边线割开^[5-6]。

为对割袋过程中刀具与包装袋的受力状态进行

研究,本文采用 LS-DYNA 有限元分析软件对刀具的割袋过程进行显式动力学仿真,为割袋刀具的设计提供理论依据。仿真分为两部分,即侧面割袋过程的显式动力学仿真与底面割袋过程的显式动力学仿真。

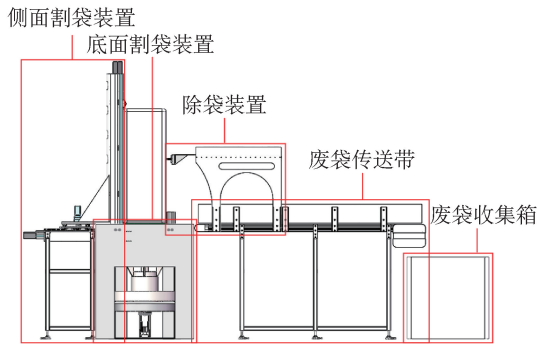
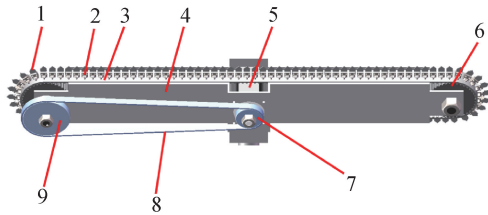


图1 包装袋的去除及回收装置的结构示意



1—刀具;2—刀具底座;3—齿形带;4—锯齿刀架;5—电动机;
6—齿形轮;7—小皮带轮;8—皮带;9—大皮带轮。

图2 锯齿刀具装置

2 割袋过程的仿真模型

2.1 侧面割袋过程的仿真模型

侧面割袋过程的显式动力学仿真简化模型如图3所示,包含塑料包装袋、刀具及刀具轨道。

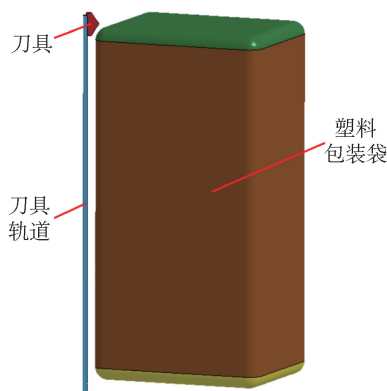


图3 侧面割袋过程的显式动力学仿真简化模型

2.1.1 材料及单元属性设置

割袋过程的显式动力学分析对象主要是刀具和塑料包装袋,由于割袋过程中刀具受到的应力相对于塑料包装袋的受力很小,可以忽略不计,因此,只需考察塑料包装袋的受力情况。各主要部分的材料设置如下:将刀具和刀具轨道设置为刚性材料,刀具保留沿刀具轨道方向的平移自由度,刀具轨道为全约束。材料参数如表1所示。塑料包装袋设置为塑性材料,材料参数见表2。由于研究的是塑料包装袋被割破的过程,因此还需设置其失效参数,本分析中采用最大应变失效作为材料的失效准则,设置其值为0.01。

表1 刀具和刀具轨道的材料参数

密度/(kg/m ³)	弹性模量/Pa	泊松比
7 850	2×10 ¹¹	0.3

表2 塑料包装袋的材料参数

密度/(kg/m ³)	弹性模量/Pa	泊松比
900	8.9×10 ⁸	0.420 3

侧面割袋过程仿真模型的单元属性设置如下:刀具与刀具轨道设置为实体单元,均以六面体单元划分网格,并采用单积分点六面体单元算法。塑料包装袋设置为壳体单元,采用 Belytschko-Tsay 类型的壳单元算法。图4为侧面割袋过程仿真模型的网格划分,模型由284个实体单元和44 992个壳体单元组成。

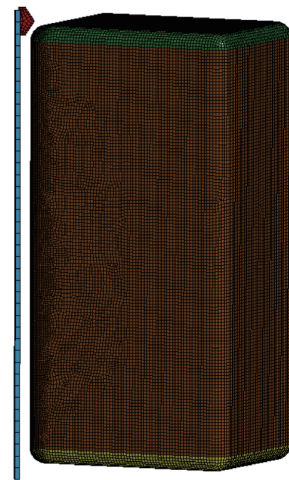


图4 侧面割袋过程仿真模型的网格划分

2.1.2 接触与连接设置

侧面割袋过程只有刀具与塑料包装袋的接触,即采用 CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_

SURFACE 关键字在即将发生接触和破坏的刀具与塑料包装袋之间定义的侵蚀接触。

2.1.3 边界条件与初始状态设置

2.1.3.1 侧面割袋过程的边界条件设置

在塑料包装袋的底面设为全固定约束。

2.1.3.2 侧面割袋过程的初始状态设置

在刀具上定义沿刀具轨道从上到下的初始速度为 10 m/s。

2.1.4 控制输出设置

2.1.4.1 人工体积黏度设置

二次黏度系数设置为 1.5, 线性黏度系数设置为 0.06, 并计算壳体单元中由于黏性引起的内能耗散。

2.1.4.2 能量平衡设置

计算时考虑沙漏能、刚性墙能损耗、滑动界面能损耗、瑞利能损耗, 并将其代入能量守恒计算中。

2.1.4.3 沙漏控制设置

将沙漏黏性类型设置为类型 3 的刚度形式, 沙漏能系数设置为 0.1。

2.1.4.4 求解时间设置

求解时间设置为 0.15 s, 时间步长设置为 1 μ s, 并允许小于该时间步长的单元进行质量缩放。

2.2 底面割袋过程的显式动力学仿真

底面割袋过程的显式动力学仿真简化模型如图 5 所示, 模型包含塑料包装袋、刀具及刀具轨道。

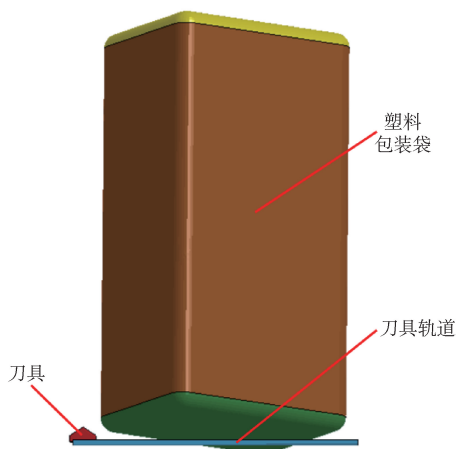


图 5 底面割袋过程的显式动力学仿真简化模型

2.2.1 材料及单元属性设置

材料设置和单元属性设置与侧面割袋过程分析中的一致, 此处不再重述。底面割袋过程仿真模型的网格划分如图 6 所示, 整体结构由 200 个实体单元和

48 475 个壳单元组成。



图 6 底面割袋过程仿真模型的网格划分

2.2.2 接触与连接设置

底面割袋过程中同样仅有一个接触, 即采用 CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_SURFACE 关键字在即将发生接触和破坏的刀具与包装袋之间定义的侵蚀接触。

2.2.3 边界条件与初始状态设置

2.2.3.1 底面割袋过程的边界条件设置

底面割袋过程的边界条件设置与侧面割袋过程的边界条件设置相同。

2.2.3.2 底面割袋过程的初始状态设置

在刀具上定义沿纤维包底面对角线方向上的刀具轨道的初始速度为 10 m/s。

2.2.4 控制输出设置

2.2.4.1 人工体积黏度设置

将二次黏度系数设置为 1.5, 线性黏度系数设置为 0.06, 并计算壳体单元中由于黏性引起的内能耗散。

2.2.4.2 能量平衡设置

计算时考虑沙漏能、刚性墙能损耗、滑动界面能损耗、瑞利能损耗, 并将其代入能量守恒计算中。

2.2.4.3 沙漏控制设置

沙漏黏性类型为类型 3 的刚度形式, 沙漏能系数设置为 0.1。

2.2.4.4 求解时间设置

求解时间设置为 0.09 s; 时间步长设置为 1 μ s, 并允许小于该时间步长的单元进行质量缩放。

3 仿真结果分析

3.1 侧面割袋过程仿真结果分析

图 7a)~图 d) 显示了侧面割袋过程中不同时刻的应力云图仿真结果。如图 7a) 所示, 在 $t=0.003\ 029\ s$

时刀具与包装袋产生了接触,使包装袋与刀具接触处附近的应力增大;如图 7b)所示,随着刀具沿轨道向下方做直线运动,刀具所经过的路径两侧包装袋区域的应力也由零逐渐增大;如图 7c)所示,当刀具移动到纤维包下半部时,位于刀具下方的包装袋边线附近区域的应力也明显增大;如图 7 d)所示,刀具在 $t=0.140\ 895\ \text{s}$ 时运动到纤维包的底部,完成了包装袋侧边的整个切割过程。由图 7 可以看出,包装袋的侧边已被完全切开。分析图 7 可知,在切割过程中最大应力始终出现在包装袋上的切割点处,且切割过程中最大应力为 $8.552\ \text{MPa}$ 。

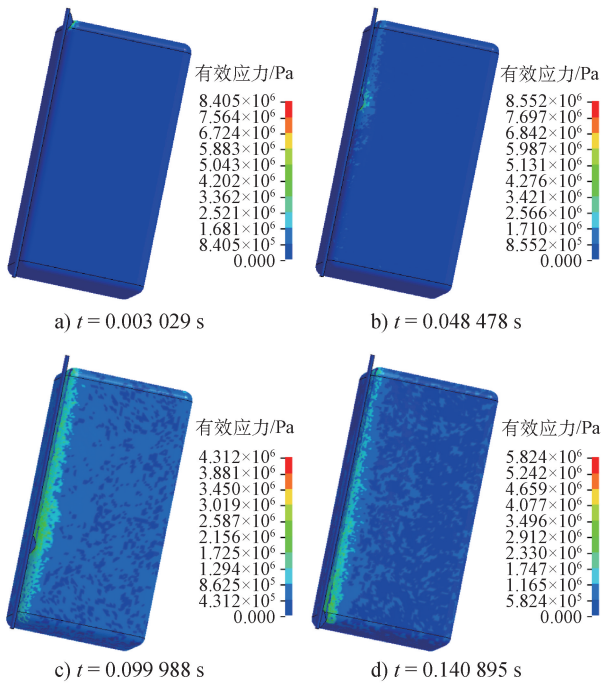


图 7 侧面割袋过程中不同时刻的应力云图

图 8 示出了侧面割袋过程中切割力随时间变化的曲线。可见,随着刀具切割包装袋过程的进行,切割力在 $0.7\ \text{N}$ 附近波动,但整个割袋过程中切割力的变化较小。最大切割力出现在初始阶段,刀具以最大切割力 $1.969\ 3\ \text{N}$ 开始切割包装袋。

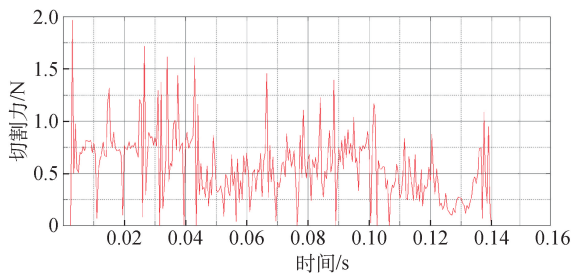


图 8 侧面割袋过程中切割力随时间的变化曲线

3.2 底面割袋过程仿真结果分析

底面割袋过程中不同时刻的应力云图如图 9 所示。由图 9a)可见,在 $t=0.008\ 179\ \text{s}$ 时刀具与包装袋发生接触,接触处附近的应力随之增大;如图 9b)所示,随着刀具沿纤维包底面对角线移动,刀具所经过的路径周围包装袋区域的应力也由 0 逐渐增大;由图 9c)可知,当刀具移动到纤维包底面另一侧后,整个包装袋底面区域的应力也显著增大;如图 9d)所示,在 $t=0.088\ 171\ \text{s}$ 时刀具沿纤维包底面对角线切割到其对侧,完成了包装袋底面一条对角线的完整切割。由图 9 可以看出,包装袋的底面已被完全切开。底面另一条对角线的切割过程与该过程类似。分析图 9 可知,在切割过程中最大应力始终出现在包装袋上的切割点处。该过程的最大应力为 $9.006\ \text{MPa}$ 。

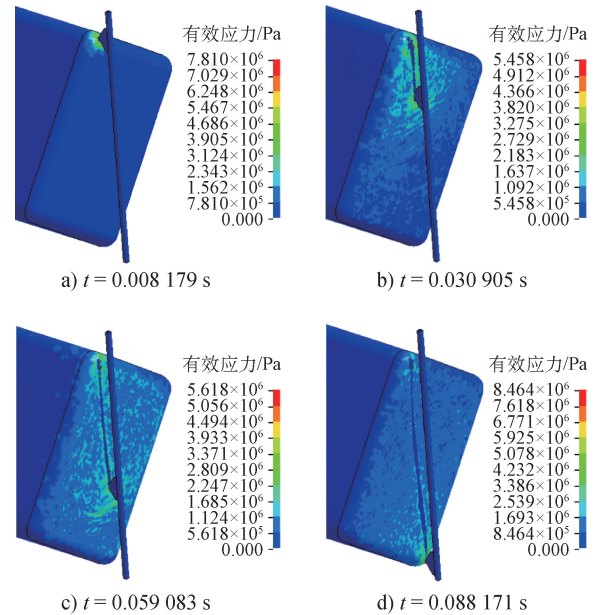


图 9 底面割袋过程中不同时刻的应力云图

底面割袋过程中的切割力随时间的变化曲线如图 10 所示,过程中切割力几乎围绕 $0.7\ \text{N}$ 上下波动,整体变化幅度较小。最大切割力出现在刀具开始切割包装袋的那一刻,切割力最大值为 $3.671\ 6\ \text{N}$,表明底面割袋过程相比侧面割袋过程需要更大的初始切割力。

4 结论

本文采用 LS-DYNA 有限元分析软件,对纤维

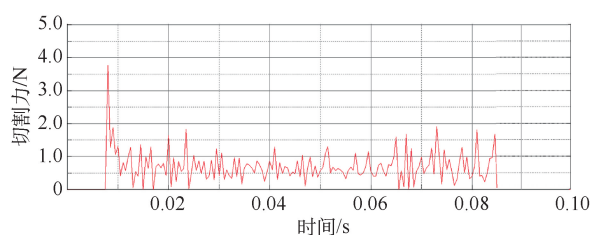


图 10 底面割袋过程中切割力随时间的变化曲线

包自动除带及拆袋机中包装袋侧面和底面的割袋过程进行了显式动力学仿真研究。仿真结果表明：侧面割袋装置和底面割袋装置均能成功实现对包装袋的切割，侧面割袋过程和底面割袋过程中的最大应力都发生在切割点处，最大应力分别为 8.552 MPa 和 9.006 MPa。随着切割过程的进行，侧面割袋过程和底面割袋过程中的切割力均在 0.7 N 上下波动，但波动幅度较小，且最大切割力均出现在刀具开始切割包装袋的那一刻，分别为 1.969 3 N 和 3.671 6 N。底面割袋过程相比侧面割袋过程需要更大的初始切割力。研究可为纤维包自动除带及拆袋机割袋机构的设计提供理论依据。

基金项目：

1. 上海市现代纺织前沿科学研究基地资助项目 (X11012201-011)；
2. 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2232023Y-01)。

参 考 文 献

- [1] 徐旻,任强. 工业机器人的发展及对棉纺行业的建议[J]. 棉纺织技术, 2015,43(4):75-78.
- [2] 李增润,管幼平. 浅谈智能纺的发展现状和未来趋势[J]. 棉纺织技术,2019,47(5):1-4.
- [3] 梅顺齐,胡贵攀,王建伟,等. 纺织智能制造及其装备若干关键技术的探讨[J]. 纺织学报,2017,38(10):166-171.
- [4] 刘琰,裴泽光.纤维包自动除带及拆袋机剪带过程的有限元仿真研究[J]. 国际纺织导报,2024,52(5):11-15.
- [5] 东华大学.一种用于直行抓包机的纤维包除带及拆袋机和方法:20211319184[P]. 2023-08-01.
- [6] 裴泽光,刘琰,张金中,等. 棉包自动拆袋机的创新设计[J]. 棉纺织技术,2023,51(1):5-9.

(上接第 4 页)

编织第 13”行时,机头带 A 色纱线的导纱器,第 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15 针,前床编织正针线圈 a”。此时,经过第二循环结构的编织,第 2、14 针 B 色纱线始终没有参与编织,A 色正针线圈 c”的线圈弧 R 被有效拉长,形成墙体的纵向分割空间。

编织第 14”行时,机头带 A 色纱线的导纱器,第 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15 针,前床编织正针线圈 a”。

3 结语

围绕墙体结构的外观形状,开发的 2 种具有菱形和矩形墙体纹理效应的羊绒针织物都达到了开发要

求,织物纹理风格明显,为针织产品开发设计人员提供了一定的理论及实践素材。将这种针织物或组织结构应用于针织产品设计,能起到较好的表现效果,增加产品的花色品种,提升织物的开发思路。

参 考 文 献

- [1] 吴洋. 格子型色织物纹样的优化设计研究[D]. 无锡:江南大学,2018.
- [2] 王适. 双色复合卷边针织组织设计方法研究[J]. 针织工业,2021(3):18-21.
- [3] 刘欣蕾,陈瑶,虞淑锐,等. 毛衫织物组织的创新设计与工艺[J]. 毛纺科技,2019,47(2):18-21.